

## ABSTRACT

*A horizontal piped breakwater is a horizontal pipe piled construction for reduction of the wave energy. This structure may be used to prevent harbors and beaches from wave attacks, especially during the storm condition.*

*The aim of this research was to investigate the transmission, reflection and dissipation of the wave energy when propagating wave through a horizontal piped breakwater. Physical model tests were conducted at IUC-ES hydraulic laboratory. Variations of pipe diameter, wave height and wave period were that investigation, whilst regular wave was used in the attack wave.*

*The result of the investigation shows that the transmitted and reflected wave height is influenced by the relative dimension of the horizontal piped breakwater. The longer is the pipe, the smaller wave transmission and the greater wave reflection results.*

**Key words:** transmission, reflection, dissipation.

## PENDAHULUAN

Usaha pengamanan kolam pelabuhan untuk marina dan perlindungan pantai dari serangan gelombang dapat dilakukan dengan pembuatan pemecah gelombang. Permasalahan yang timbul dengan adanya bangunan tersebut adalah terganggunya perimbangan kebutuhan sedimen (sediment budget), terutama angkutan sedimen sejajar pantai (longshore transport). Struktur berlubang dalam bentuk pemecah gelombang susunan pipa horizontal merupakan salah satu alternatif yang dapat dikembangkan.

Penelitian dilakukan dalam bentuk model fisik dua dimensi untuk mengetahui efektivitas susunan pipa dalam mentransmisikan, merefleksikan dan meredam energi gelombang pada saat gelombang melimpas (overtopping) dan tidak ada limpasan (non overtopping).

Disamping itu, penelitian ini merupakan kajian awal dari unjuk kerja pemecah gelombang susunan pipa horizontal oleh gerakan gelombang, sehingga nantinya diharapkan dapat menambah perbendaharaan analisis hitungan terhadap pemilihan alternatif bangunan pantai untuk mengatasi permasalahan erosi.

## ENERGI GELOMBANG

Energi total yang terkandung dalam gelombang merupakan jumlah dari energi kinetik dan potensial. Energi kinetik gelombang adalah energi yang

disebabkan kecepatan partikel air karena adanya gelombang, sedangkan energi potensial gelombang adalah energi yang dihasilkan oleh perpindahan muka air karena adanya gelombang (CERC, 1984; Dean and Dalrymple, 1984; Ippen, 1966, Silvester, 1974; Sorensen, 1978; Triatmodjo, 1996).

Besarnya energi total dalam sebuah gelombang persatuan lebar gelombang adalah :

$$E_t = E_k + E_p = \frac{\rho g H^2 L}{8} \quad 1)$$

sedangkan besarnya energi rata-rata persatuan luas gelombang adalah :

$$E = \frac{E_t}{L} = \frac{\rho g H^2}{8} \quad 2)$$

dengan :

- $E_t$  : energi total gelombang,
- $E_k$  : energi kinetik gelombang,
- $E_p$  : energi potensial gelombang,
- $E$  : energi rata-rata gelombang,
- $\rho$  : rapat massa air,
- $g$  : percepatan gravitasi,
- $H$  : tinggi gelombang,
- $L$  : panjang gelombang.

Besarnya energi gelombang yang sampai di pantai tergantung pada tinggi gelombang yang datang. Tinggi gelombang dapat dikurangi dengan membuat konstruksi melintang arah gelombang yang berfungsi mengurangi tinggi gelombang yang melewati konstruksi tersebut dengan peredaman atau pemantulan (CERC, 1984).

\*) Ir. IGNP. Dirgayusa, Dosen Fakultas Teknik Universitas Udayana

Mahasiswa Program Pascasarjana (S2) Universitas Gadjah Mada

\*\*) Dr. Ir. Nur Yuwono, Dipl. HE., Dosen Fakultas Teknik UGM

Apabila gelombang pada saat penjalaran mengalami suatu rintangan yang bersifat lurus air, sebagian energinya akan dihancurkan atau hilang melalui proses gesekan dan turbulensi. Sebagian lagi dipantulkan dan sisanya diteruskan yang pada akhirnya dihancurkan di pantai melalui proses pecahnya gelombang. Besarnya energi yang dihancurkan, dipantulkan dan diteruskan tergantung dari karakteristik gelombang (periode dan tinggi gelombang), jenis struktur (porositas dan kekasaran), geometri struktur (kemiringan, tinggi dan lebar puncak) dan keadaan lingkungan setempat (kedalaman air dan kontur dasar pantai) (Dalrymple, Losada and Martin, 1991).

Pada lokasi bangunan pantai, atau pada suatu tempat dimana konfigurasi dasar mengalami perubahan kedalaman secara mendadak, sebagian energi gelombang dipantulkan, sebagian yang lain ditransmisikan, dan energi yang tersisa akan dihancurkan akibat pecahnya gelombang, kekentalan fluida, gesekan dasar dan penyebab lainnya. Kejadian ini akan memenuhi hukum kekekalan energi yang dapat dinyatakan sebagai berikut ini (Horikawa, 1978).

$$\bar{W}_i = \bar{W}_t + \bar{W}_r + \bar{W}_L \quad (3)$$

dengan :

- $\bar{W}_i$  : flux energi rata-rata gelombang datang,
- $\bar{W}_t$  : flux energi rata-rata gelombang transmisi,
- $\bar{W}_r$  : flux energi rata-rata gelombang refleksi,
- $\bar{W}_L$  : kehilangan flux energi rata-rata.

Apabila transfer energi (energy flux) rata-rata dari suatu gelombang yang mempunyai periode tertentu diketahui sebesar  $\bar{W} = \frac{1}{8} \rho g H^2 C_g$ , maka persamaan (3) dapat ditulis dalam bentuk :

$$1 = K_t^2 + K_r^2 + K_L \quad (4)$$

dengan :

- $K_t$  = koefisien transmisi gelombang,
- $K_r$  = koefisien refleksi gelombang,
- $K_L$  = koefisien kehilangan energi.

## REFLEKSI GELOMBANG

Refleksi gelombang regular yang dihasilkan oleh pembangkit gelombang dan melalui model pemecah gelombang dengan arah tegak lurus akan membentuk gelombang berdiri (klapotis) tidak sempurna. Tinggi

gelombang refleksi dihitung berdasarkan persamaan di bawah ini :

$$H_r = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{2} \quad (5)$$

dan tinggi gelombang datang di depan bangunan adalah :

$$H_i = \frac{H_{\max} + H_{\min}}{2} \quad (6)$$

dengan :

- $H_r$  : tinggi gelombang refleksi,
- $H_i$  : tinggi gelombang datang,
- $H_{\max}$  : tinggi gelombang maksimum,
- $H_{\min}$  : tinggi gelombang minimum.

sedangkan koefisien refleksi ( $K_r$ ) ditentukan dari persamaan di bawah ini :

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{H_{\max} + H_{\min}} \quad (7)$$

## TRANSMISI GELOMBANG

Parameter transmisi gelombang adalah suatu koefisien transmisi yang didefinisikan sebagai perbandingan antara tinggi gelombang di belakang bangunan pantai dan tinggi gelombang datang.

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} \quad (8)$$

dengan :

- $K_t$  : koefisien transmisi gelombang,
- $H_t$  : tinggi gelombang transmisi,
- $H_i$  : tinggi gelombang datang.

Pada bangunan kedap air (impermeable) transmisi gelombang diakibatkan oleh hempasan volume air yang melimpas di atas mercu bangunan (debit overtopping), sedangkan pada bangunan lulus air (permeable) transmisi gelombang merupakan gabungan dari konstruksi overtopping dan perembesan air melalui bangunan. Gelombang panjang akan menghasilkan gelombang transmisi yang lebih besar dibandingkan gelombang pendek. Selain itu transmisi gelombang juga dipengaruhi oleh kecuraman gelombang (wave steepness) (Massie, 1986).

Kondo (1970) mengemukakan bahwa koefisien transmisi tergantung kepada porositas (porosity), ikatan (tortuosity), pembentuk bangunan, bilangan Reynold, kecepatan maksimum orbital partikel air di permukaan air (still water level), ukuran material dan viskositas kinematik air (Kondo dalam Silvester, 1974).

Dalam menentukan tinggi gelombang transmisi dalam penelitian ini dilakukan dengan pengukuran tinggi gelombang terukur di belakang model pemecah gelombang.

### PENYUSUNAN PARAMETER TAK BERDIMENSI

Untuk mengetahui unjuk kerja suatu bangunan hidraulik dapat dilakukan penelitian lewat model hidraulik. Model dibuat dengan skala sesuai dengan prototipe dan fasilitas yang ada di laboratorium, sehingga fenomena yang ada di model tersebut sebangun dengan yang ada di prototipenya. Dengan model ini berbagai parameter yang berpengaruh dapat dianalisis (Vries, 1977).

Analisis dimensi perlu dilakukan untuk menentukan hubungan antar parameter yang terjadi di model dalam bentuk bilangan tak berdimensi. Pada penelitian ini dilakukan analisis dimensi dengan metoda Langhaar, karena variabel yang berpengaruh relatif sedikit. Parameter yang dihasilkan dianalisis dengan analisis suaian (regression analysis) untuk mendapatkan hubungan antara parameter yang terkait.

Dari analisis dimensi yang dilakukan, didapatkan hubungan sebagai berikut :

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} = f\left(\frac{B}{L}; \frac{D}{L}\right) \quad 9a)$$

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} = f\left(\frac{B}{L}; \frac{D}{L}\right) \quad 9b)$$

$$K_L = 1 - (K_t^2 + K_r^2) = f\left(\frac{B}{L}; \frac{D}{L}\right) \quad 9c)$$

dengan :

- $B$  : panjang pemecah gelombang (panjang pipa),
- $D$  : diameter pipa,
- $L$  : panjang gelombang yang datang,
- $f$  : fungsi parameter.

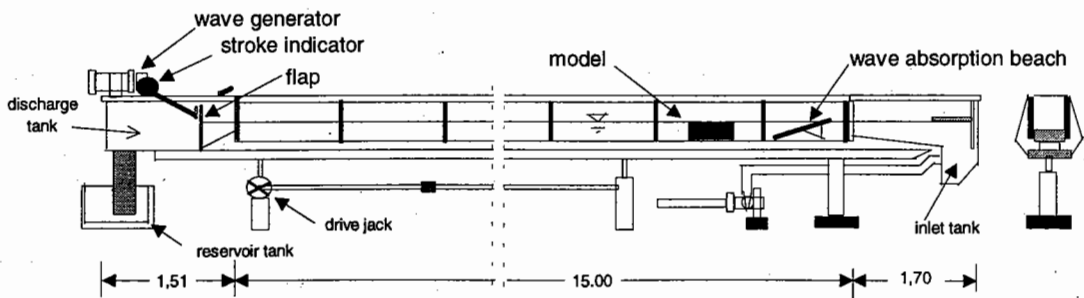
### PELAKSANAAN PENGUJIAN

Model diletakkan dalam saluran gelombang (glass sided tilting flume) tipe S6 dengan panjang total 18,10 meter, dan dilengkapi alat pembangkit gelombang (wave generator) tipe flap (gambar 1). Model dipasang pada jarak 10,95 meter dari posisi pembangkit gelombang, sedangkan tipe pengujian untuk model dapat dilihat pada gambar 2.

Model pemecah gelombang susunan pipa horizontal terbuat dari pipa pralon atau pipa pvc (poly vinyl chloride) yang disusun secara horizontal dalam kotak kayu lapis (plywood) tebal 10 milimeter berbentuk bujur sangkar. Dimensi model dan kedalaman air di saluran yang dilaksanakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1.

Pengukuran tinggi gelombang datang ( $H_i$ ) dan refleksi ( $H_r$ ) dalam pengujian pertama (uji I) berdasarkan hasil pengukuran di empat titik sepanjang dua meter dan jarak masing-masing titik pencatatan adalah 10 cm, sehingga diperoleh tinggi gelombang maksimum ( $H_{max}$ ) dan minimum ( $H_{min}$ ) untuk periode tertentu. Lokasi A pada jarak 0,55 meter dari flap dengan 20 titik pengamatan ke arah model, lokasi B pada jarak 8,55 meter dari flap dengan 20 titik pengamatan ke arah flap, dan lokasi C pada jarak 0,20 meter di depan model dengan 20 titik pengamatan ke arah flap, sedangkan tinggi gelombang transmisi ( $H_t$ ) dilakukan di lokasi D pada jarak 0,20 meter dari model dengan 20 titik pengamatan ke belakang. Untuk pengujian kedua (uji II) dilakukan di lokasi C dan D, karena dari analisis awal pengujian pertama terlihat tidak ada perbedaan antara hasil pengukuran lokasi C dengan perataan lokasi A, B dan C.

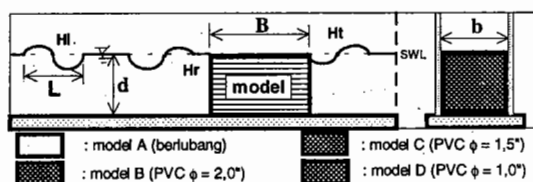
Data yang dikumpulkan pada saat pengujian adalah periode gelombang ( $T$ ), kedalaman air ( $d$ ), dimensi model ( $B$ ,  $b$  dan  $t$ ) dan tinggi gelombang di tiap titik ( $H_{max}$  dan  $H_{min}$ ).



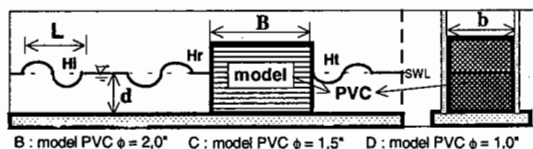
Gambar 1. Saluran gelombang

Tabel 1. Dimensi dan pengujian model

Tipe Model	Nomor Model	Ukuran Model Luar/Dalam (cm)			Kedalaman air (cm)	Diameter Pipa (D) (inch)	Jenis Uji
		Panjang	Lebar	Tinggi			
A1	1.	60,40	30,00	25,40	25,40	-	Uji I
		60,40	28,00	60,40			
	2.	40,10	30,00	23,20	25,40	-	Uji I
		40,10	27,70	20,10			
	3.	20,10	30,00	25,40	25,40	-	Uji I
		20,10	28,00	20,10			
	4.	60,00	30,20	15,40	15,40	-	Uji I
		60,00	27,70	13,30			
B1	1.	60,20	30,40	24,80	24,80	2,00	Uji I
		60,20	27,20	22,20			
	2.	60,00	30,20	15,90	15,90	2,00	Uji I
		60,00	27,20	13,20			
	3.	40,20	25,90	25,90	25,90	2,00	Uji I
		40,20	27,80	23,70			
	4.	20,10	30,20	25,50	25,50	2,00	Uji I
		20,10	27,80	23,20			
C1	1.	60,00	30,50	24,00	24,00	1,50	Uji I
		60,00	28,10	23,40			
	2.	60,00	30,20	15,80	15,80	1,50	Uji I
		60,00	27,40	13,20			
	3.	40,20	30,40	25,80	25,80	1,50	Uji I
		40,20	27,80	22,90			
	4.	20,10	30,20	25,60	25,60	1,50	Uji I
		20,10	27,90	23,00			
D1	1.	60,00	30,40	25,00	25,00	1,00	Uji I
		60,00	27,80	22,80			
	2.	60,00	30,20	15,50	15,50	1,00	Uji I
		60,00	27,60	13,40			
	3.	40,00	30,40	25,50	25,50	1,00	Uji I
		40,00	27,90	22,80			
	4.	40,20	30,40	25,50	25,50	1,00	Uji I
		40,20	27,90	22,80			
B2	5.	60,00	30,40	36,50	20,00	2,00	Uji II
		60,00	27,20	33,80			
	6.	20,00	30,40	36,50	20,00	2,00	Uji II
		20,00	27,20	33,80			
C2	5.	60,00	30,40	36,50	20,00	1,50	Uji II
		60,00	27,20	33,80			
	6.	20,00	30,40	36,50	20,00	1,50	Uji II
		20,00	27,20	33,80			
D2	5.	60,00	30,40	36,50	20,00	1,00	Uji II
		60,00	27,20	33,80			
	6.	20,00	30,40	36,50	20,00	1,00	Uji II
		20,00	27,20	33,80			



Gambar 2a. Definisi parameter uji I



Gambar 2b. Definisi parameter uji II

Gambar 2. Bentuk pengujian model

## HASIL DAN PEMBAHASAN

## Pengujian pertama (uji I)

Pada saat gelombang melimpasi model pemecah gelombang, koefisien refleksi ( $K_r$ ) akan semakin kecil sebanding dengan mengecilnya perbandingan antara panjang bangunan dan panjang gelombang ( $B/L$ ), seperti terlihat pada gambar 4. Dalam hal ini dapat dikemukakan bahwa tinggi gelombang refleksi ( $H_r$ ) akan ditentukan oleh tinggi gelombang ( $H_i$ ), panjang gelombang ( $L$ ) dan panjang bangunan atau panjang pipa ( $B$ ).

Perbedaan antara koefisien refleksi model pemecah gelombang berlubang penuh (model A) dengan model pemecah gelombang susunan pipa horizontal (model B, C dan D) sangat kecil. Dimana menunjukkan adanya pipa secara horizontal tidak begitu berpengaruh terhadap gelombang refleksi yang terjadi pada saat permukaan air (still water level) sama dengan puncak bangunan.

Gelombang yang melalui pemecah gelombang berlubang penuh (model A) dan pemecah gelombang susunan pipa horizontal (model B, C dan D) sebagian flux energinya tidak dapat diteruskan. Sebagian flux energi gelombang ini akan menyebabkan terjadinya refleksi gelombang.

Dari hasil analisis suaian linier satu peubah untuk hubungan koefisien refleksi ( $K_r$ ) pengujian pertama dengan perbandingan antara panjang bangunan dan panjang gelombang ( $B/L$ ) diperoleh hubungan berbentuk fungsi logaritma, dengan batasan  $0,0451 \leq B/L \leq 0,8828$ . Adapun perumusan analisis suaian yang diperoleh adalah :

$$K_r^{A1} = 0.2003 \ln \left( \frac{B}{L} \right) + 0.7674 \longrightarrow R^2 = 0.9038 \longrightarrow R = 0.9507 \quad 10a)$$

$$K_r^{B1} = 0.1399 \ln \left( \frac{B}{L} \right) + 0.7077 \longrightarrow R^2 = 0.9056 \longrightarrow R = 0.9516 \quad 10b)$$

$$K_r^{C1} = 0.1677 \ln \left( \frac{B}{L} \right) + 0.7761 \longrightarrow R^2 = 0.9290 \longrightarrow R = 0.9638 \quad 10c)$$

$$K_r^{D1} = 0.1648 \ln \left( \frac{B}{L} \right) + 0.7524 \longrightarrow R^2 = 0.9315 \longrightarrow R = 0.9651 \quad 10d)$$

Besarnya koefisien transmisi gelombang ( $K_t$ ) yang melalui pemecah gelombang berlubang penuh (model A) dan pemecah gelombang susunan pipa horizontal (model B, C dan D) merupakan fungsi dari panjang bangunan dan panjang gelombang. Semakin besar perbandingan antara panjang bangunan dan panjang gelombang ( $B/L$ ), maka koefisien transmisi gelombang ( $K_t$ ) akan semakin kecil, seperti terlihat pada gambar 5.

Dari gambar 5 juga terlihat bahwa besarnya koefisien transmisi gelombang dipengaruhi oleh besarnya diameter pipa yang dipakai. Dengan pemakaian diameter pipa yang lebih kecil diperoleh koefisien transmisi yang semakin kecil.

Sebagian flux energi gelombang yang diteruskan melalui pemecah gelombang berlubang penuh maupun pemecah gelombang susunan pipa horizontal akan menyebabkan terjadinya transmisi gelombang.

Dari hasil analisis suaian linier satu peubah untuk hubungan koefisien transmisi ( $K_t$ ) pengujian pertama dengan perbandingan antara panjang bangunan dan panjang gelombang ( $B/L$ ) diperoleh hubungan berbentuk fungsi logaritma, dengan batasan  $0,0451 \leq B/L \leq 0,8828$ . Adapun perumusan analisis suaian yang diperoleh adalah :

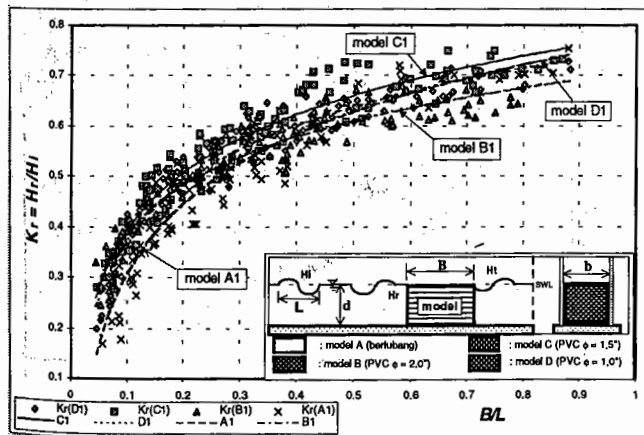
$$K_t^{A1} = -0.2640 \ln\left(\frac{B}{L}\right) + 0.2573 \rightarrow R^2 = 0.9283 \rightarrow R = 0.9635 \quad 11a)$$

$$K_t^{B1} = -0.2696 \ln\left(\frac{B}{L}\right) + 0.1965 \rightarrow R^2 = 0.9598 \rightarrow R = 0.9797 \quad 11b)$$

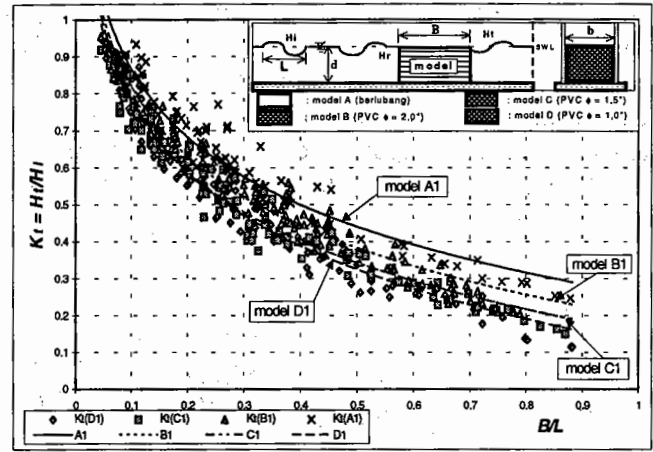
$$K_t^{C1} = -0.2680 \ln\left(\frac{B}{L}\right) + 0.1574 \rightarrow R^2 = 0.9593 \rightarrow R = 0.9794 \quad 11c)$$

$$K_t^{D1} = -0.2856 \ln\left(\frac{B}{L}\right) + 0.1271 \rightarrow R^2 = 0.9619 \rightarrow R = 0.9808 \quad 11d)$$

Kehilangan energi gelombang ( $K_L$ ) semakin besar jika perbandingan antara panjang bangunan atau panjang pipa dan panjang gelombang ( $B/L$ ) semakin besar pula, seperti terlihat pada gambar 6. Kehilangan energi gelombang terbesar terjadi pada model dengan diameter pipa yang paling kecil (model D), sehingga dapat dikemukakan bahwa susunan pipa horizontal berpengaruh terhadap peredaman energi gelombang.



Gambar 4. Hubungan  $B/L$  dan  $K_r$  (uji I)



Gambar 5. Hubungan  $B/L$  dan  $K_t$  (uji I)

### Pengujian kedua (uji II)

Pada posisi muka air di bawah puncak bangunan dan gelombang tidak melimpas (non overtopping), mengakibatkan tinggi gelombang refleksi pada setiap model mempunyai perbedaan yang cukup besar pada kondisi  $B/L$  di atas 0,20. Refleksi gelombang dipengaruhi oleh panjang bangunan atau panjang pipa, diameter pipa dan panjang gelombang yang datang. Semakin kecil perbandingan antara panjang pipa atau panjang bangunan dengan panjang gelombang ( $B/L$ ), dan semakin kecil diameter pipa yang dipakai, maka koefisien refleksi gelombang semakin besar. Fenomena ini dapat dilihat pada gambar 7.

Gelombang refleksi yang terjadi karena sebagian pantulan energi flux gelombang tidak dapat melalui konstruksi pemecah gelombang susunan pipa horizontal.

Dari hasil analisis suaian linier satu peubah untuk hubungan koefisien refleksi ( $K_r$ ) pengujian kedua dengan perbandingan antara panjang bangunan dan panjang gelombang ( $B/L$ ) diperoleh hubungan berbentuk fungsi logaritma, dengan batasan  $0,0481 \leq B/L \leq 0,6963$ . Adapun perumusan analisis suaian yang diperoleh adalah :

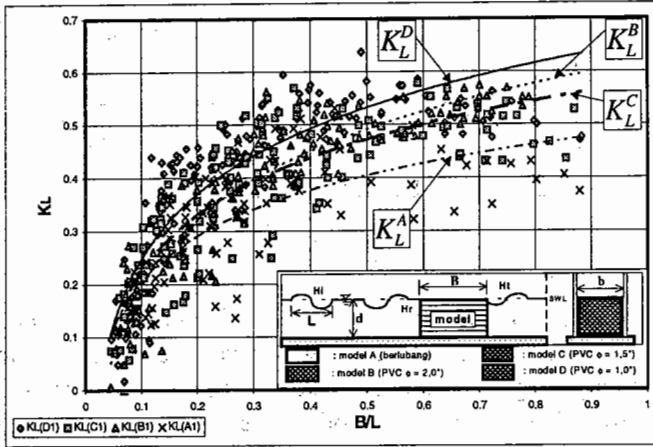
$$K_r^{B2} = 0.1158 \ln\left(\frac{B}{L}\right) + 0.5643 \rightarrow R^2 = 0.8665 \rightarrow R = 0.9309 \quad 12a)$$

$$K_r^{C2} = 0.1656 \ln\left(\frac{B}{L}\right) + 0.7085 \rightarrow R^2 = 0.9404 \rightarrow R = 0.9697 \quad 12b)$$

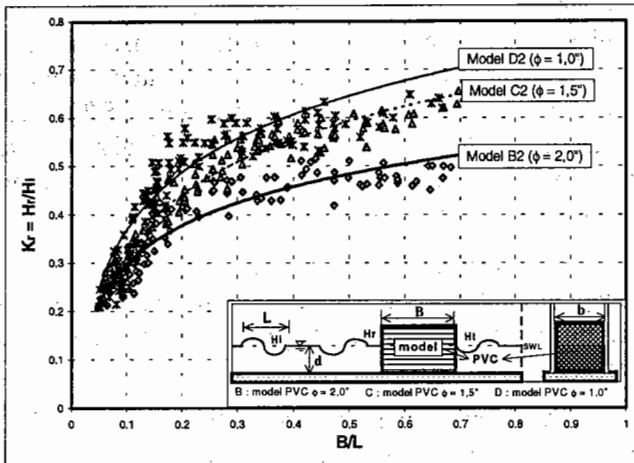
$$K_r^{D2} = 0.1717 \ln\left(\frac{B}{L}\right) + 0.7465 \rightarrow R^2 = 0.8490 \rightarrow R = 0.9214 \quad 12c)$$

Dari gambar 8 terlihat bahwa pada saat permukaan air (still water level) sama dengan puncak bangunan dan tidak terjadi limpasan (non overtopping), besarnya koefisien transmisi gelombang

( $K_t$ ) yang melalui konstruksi pemecah gelombang susunan pipa horizontal merupakan fungsi dari panjang bangunan atau panjang pipa dan panjang gelombang datang. Semakin besar perbandingan antara panjang bangunan dan panjang gelombang ( $B/L$ ), maka koefisien transmisi gelombang ( $K_t$ ) semakin kecil.



Gambar 6. Hubungan  $B/L$  dan  $K_L$  (uji I)



Gambar 7. Hubungan  $B/L$  dan  $K_t$  (uji II)

Disamping itu dari gambar 8 juga terlihat bahwa pada  $B/L$  yang semakin besar perbedaan koefisien transmisi masing-masing model semakin besar, dimana pemakaian diameter pipa yang semakin kecil akan menghasilkan koefisien transmisi gelombang ( $K_t$ ) semakin kecil.

Sebagian energi flux gelombang yang diteruskan oleh pemecah gelombang susunan pipa horizontal menyebabkan transmisi gelombang. Besarnya energi flux gelombang tersebut akan menentukan tingginya transmisi gelombang yang terjadi.

Dari hasil analisis suaian linier satu peubah untuk hubungan koefisien transmisi ( $K_t$ ) pengujian kedua dengan perbandingan antara panjang bangunan dan panjang gelombang ( $B/L$ ) diperoleh hubungan berbentuk fungsi logaritma, dengan batasan  $0,0481 \leq B/L \leq 0,6963$ . Adapun perumusan analisis suaian yang diperoleh adalah :

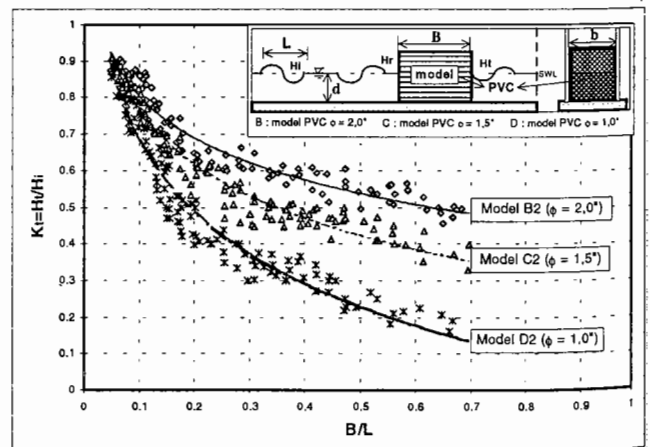
$$K_t^{B2} = -0.1658 L \ln \left( \frac{B}{L} \right) + 0.4228 \rightarrow R^2 = 0.9307 \rightarrow R = 0.9647 \quad (13a)$$

$$K_t^{C2} = -0.2116 L \ln \left( \frac{B}{L} \right) + 0.2785 \rightarrow R^2 = 0.9543 \rightarrow R = 0.9769 \quad (13b)$$

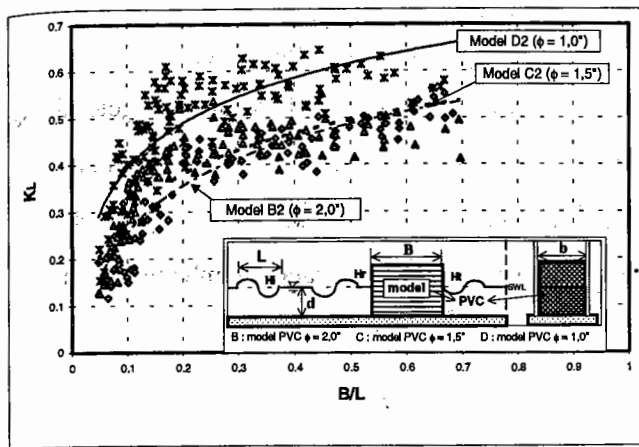
$$K_t^{D2} = -0.2832 L \ln \left( \frac{B}{L} \right) + 0.0325 \rightarrow R^2 = 0.9430 \rightarrow R = 0.9711 \quad (13c)$$

Gambar 9. menunjukkan kehilangan energi dari gelombang yang melalui pemecah gelombang susunan pipa horizontal untuk berbagai ukuran diameter pipa yang dipakai. Kehilangan energi gelombang pada model D (diameter pipa 1,0'') jauh lebih besar dari kehilangan energi gelombang pada model C (diameter pipa 1,5'') dan pada model B (diameter pipa 2,0''), sedangkan kehilangan energi gelombang pada model C hampir sama dengan kehilangan energi gelombang pada model B.

Pada saat gelombang melalui pemecah gelombang susunan pipa horizontal, sebagian flux energi gelombang akan mengalami kehilangan energi (dissipation). Kehilangan energi gelombang ini dapat disebabkan oleh gesekan partikel air dengan pipa, turbulensi aliran dalam pipa, peredaman energi potensial gelombang akibat peredaman fluktuasi muka air oleh panjang pipa, dan peredaman energi kinetik gelombang akibat peredaman kecepatan partikel air arah vertikal dan horizontal.



Gambar 8. Hubungan  $B/L$  dan  $K_t$  (uji II)



Gambar 9. Hubungan B/L dan  $K_L$  (uji II)

## KESIMPULAN

Berdasarkan uraian tersebut di atas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

1. Penggunaan diameter pipa yang lebih kecil dalam pemecah gelombang susunan pipa horizontal menyebabkan pengecilan tinggi gelombang transmisi (lihat gambar 5 dan gambar 8).
2. Semakin panjang pipa yang digunakan dalam pemecah gelombang susunan pipa horizontal berakibat semakin kecil gelombang yang ditransmisikan. Besarnya koefisien transmisi gelombang berbentuk fungsi logaritma dari perbandingan antara panjang pipa dan panjang gelombang yang datang (lihat gambar 5 dan gambar 8).
3. Semakin pendek pipa yang digunakan dalam pemecah gelombang susunan pipa horizontal berakibat semakin kecil gelombang yang direfleksikan. Besarnya koefisien refleksi gelombang berbentuk fungsi logaritma terhadap perbandingan antara panjang pipa dan panjang gelombang yang datang (lihat gambar 4 dan gambar 7).
4. Kehilangan energi dari gelombang yang melalui pemecah gelombang susunan pipa horizontal akan semakin besar sebanding dengan makin panjang pipa yang dipergunakan dan diameter pipa semakin kecil (lihat gambar 6 dan gambar 9).

## PENUTUP

Demikianlah tulisan ini disajikan dan ucapan terima kasih disampaikan kepada staf dan karyawan laboratorium Hidraulika dan Hidrologi PAU-IT Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta yang telah

membantu dan memberikan fasilitas selama berlangsungnya penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- CERC., 1984, Shore Protection Manual, 4th. ed., Volume I and Volume II, Coastal Engineering Research Center, Departement of The Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, PO. Box 631, Vicksburg, Missisipi 39810.
- Dalrymple, R. A., Losada, M. A., and Martin, P. A., 1991, Reflection and Transmission from Porous Structures Under Oblique Wave Attack, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 224, Cambridge University Press, Cambridge, March 1991.
- Dean, R. G., and Dalrymple, R. A., 1984, Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Horikawa, K., 1978, Coastal Engineering, University of Tokyo Press, Tokyo.
- Ipen, A. T., (ed), 1966, Estuary and Coastline Hydrodynamics, Mc. Graw-Hill, New York, NY.
- Massie, W. W. P. E., 1986, Coastal Engineering, 3 vols, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- Silvester, R., 1974, Coastal Engineering, 1 and 2, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands.
- Sorensen, R. M., 1978, Basic Coastal Engineering, John Wiley & Sons.
- Triatmodjo, B., 1996, Pelabuhan, Beta Offset, Yogyakarta.
- Vries, M. D., 1977, Scale Models in Hydraulic Engineering, International Institute for Hydraulics and Environmental Engineering, Delft, The Netherlands.

## DAFTAR NOTASI

- $B$  : panjang pemecah gelombang,  
 $b$  : lebar pemecah gelombang,  
 $C_g$  : kecepatan rambat kelompok gelombang,  
 $D$  : diameter pipa,  
 $d$  : kedalaman air di depan bangunan,  
 $E$  : energi rata-rata gelombang,  
 $E_k$  : energi kinetik gelombang,



$E_p$  : energi potensial gelombang,  
 $E_t$  : energi total gelombang,  
 $g$  : percepatan gravitasi,  
 $H$  : tinggi gelombang,  
 $H_i$  : tinggi gelombang datang,  
 $H_r$  : tinggi gelombang refleksi,  
 $H_t$  : tinggi gelombang transmisi,  
 $H_{max}$  : tinggi gelombang maksimum,  
 $H_{min}$  : tinggi gelombang minimum,  
 $K_L$  : kehilangan energi gelombang,  
 $K_r$  : koefisien refleksi gelombang,  
 $K_t$  : koefisien transmisi gelombang,

$L$  : panjang gelombang,  
 $t$  : tinggi pemecah gelombang,  
 $\bar{W}_L$  : kehilangan energy flux rata-rata gelombang,  
 $\bar{W}_i$  : energy flux rata-rata gelombang datang,  
 $\bar{W}_r$  : energy flux rata-rata gelombang refleksi,  
 $\bar{W}_t$  : energy flux rata-rata gelombang transmisi,  
 $\rho$  : rapat massa air.